认知训练中远迁移的缺失及可能的解决路径∗

王绍绰[1]，肖坤辰[1]，荆秀娟[2]，王一峰[1]
[1]（四川师范大学脑与心理科学研究院　成都　610066）
[2]（西南财经大学天府学院　成都　610052）

摘要：
通过反复执行某种特定的任务或游戏以提高多种认知功能是认知训练的重要目标。然而，基于领域特殊性的认知训练难以产生远迁移。认知训练理论认为远迁移的缺失表明认知功能之间相对独立。脑成像研究发现，认知功能之间虽共享大量局部脑区和脑网络活动，但其全局活动模式却不相同。领域特殊性认知训练强化了认知特异性全局脑活动模式，阻碍了迁移；而领域一般性认知训练包含了多个认知领域，可能产生远迁移。未来研究应关注领域特殊性和领域一般性认知训练的不同机制和应用场景，进一步推动认知训练和认知结构理论的发展。

关键词：认知训练　迁移效应　领域一般性　领域特殊性　认知结构理论
分类号：　B84

The lack of far transfer effects in cognitive training and its potential solution

Wang Shaochuo[1]　Xiao Kunchen[1]　Jing Xiujuan[2]　Wang Yifeng[1]
[1](Institute of Brain and Psychological Sciences, Sichuan Normal University, Chengdu 610066)
[2] (Tianfu College of Southwestern University of Finance and Economics, Chengdu 610052)

Abstract:
The primary goal of cognitive training is to improve multiple cognitive abilities by repeatedly performing a particular task or game. However, it is difficult to produce far transfer effects by domain-specific-based cognitive training. It has been suggested by cognitive training theories that the absence of far transfer effects indicates the relative independence of cognitive functions. Brain imaging studies have found that although cognitive functions share many local brain regions and brain networks, their global patterns of brain activity are not in agreement. Domain-specific-based cognitive training enhances cognitive-specific global brain activities, thus hindering transfer effects. By contrast, domain-general-based cognitive training may lead to far transfer because multiple cognitive domains are involved. Future research should pay attention to the different mechanisms and application scenarios of domain-specific- and domain-general-based cognitive trainings, further promoting the advancement of cognitive training and cognitive structure theories.

Keywords: cognitive training　transfer effect　domain-general　domain-specific　cognitive structure theory

1 引言

认知训练是通过反复执行某种特定的任务或游戏以提高特定认知功能的过程。训练某一种认知功能而提升了其他认知功能的现象称为迁移效应（transfer effect）。迁移效应通常分为近迁移（near transfer）和远迁移（far transfer）。虽

∗ 本文系国家社会科学基金教育学一般项目“基于神经节律的学龄前儿童注意训练研究”（项目编号：BBA200030）的研究成果之一。

然不同研究者对迁移效应的定义不尽相同，但大部分研究者在讨论迁移效应时通常将被试在经过某种任务的训练后，在与所训练的任务结构和内容相似的任务中表现提高的现象称为近迁移；而把在与所训练的任务结构和内容明显不同的任务甚至日常生活中表现提高的现象称为远迁移[1, 2]。迁移效应是认知训练的核心概念，也是人们进行认知训练的重要诉求。一方面，心理测试发现绝大部分心理能力之间都是正相关的[3]；另一方面，不同的心理功能之间共享大量的局部和全局脑活动[4, 5]。这使得人们期待通过认知任务训练一种认知功能，最好是一种基础认知功能就能促进多种认知能力的提升乃至智力的发展。

然而，大量认知训练研究倾向于形成一种共识：训练效应很难在不同领域的认知功能之间泛化，即远迁移的缺失[6, 7]。目前关于迁移效应的理论普遍以认知结构的共享或应用作为迁移的基础；这些理论均认为近迁移容易发生，而远迁移极难发生[8]。认知训练不能产生远迁移的实证和理论研究似乎都表明认知功能之间是相对独立的，这与认知功能之间的正相关关系及其脑活动的大量重叠相矛盾。如果认知功能之间紧密相关，为什么远迁移难以发生呢？

本文评述了认知训练中远迁移缺失的实证研究和理论解释，然后根据脑成像研究的发现提出了从领域特殊性认知训练转向领域一般性认知训练以实现远迁移的新思路。

2　认知训练远迁移的普遍缺失

2.1　商业化认知训练中远迁移的缺失

认知训练是心理学服务于社会的重要途经。迄今为止，商业化的认知训练已经形成近百亿美元的庞大市场[1]。庞大的被试群体为检验迁移效应提供了宝贵的样本。然而，Simons 等人[9]在 2016 年的综述中就指出，很多商业化认知训练的研究或存在设计缺陷，或因受赞助企业商业利益的影响而导致迁移效应被夸大，这些研究也没有提供充分的证据表明认知训练存在远迁移。随后，Rossignoli-Palomeque 等人[10]针对儿童青少年的系统性综述和 Rabipour 等人[11]针对老年人的研究表明，无论被试群体的可塑性强还是弱，商业化认知训练都没有长期持续的认知促进效应，更没有远迁移。Owen 等人[12]基于 11430 人以及 Hampshire 等人[13]基于 60222 人的大样本在线研究表明，长期训练能小幅提升所训练的认知功能，但在非常相近的任务以及在日常生活的问题解决中均未发现迁移效应。最近，Nguyen 等人对 43 项采用商业游戏对健康的和患有轻度认知障碍的老年人进行认知训练的研究进行了元分析，发现在排除发表偏差之后，这些训练仅提高了加工速度，而对注意、记忆、执行功能、流体智力等认知功能没有作用[14]。

这些研究对商业化认知训练的质疑包含两方面：一是训练效果微弱，投入产出比极低。这可能说明认知功能具有极强的稳定性，不会因为短短几个月甚至几个小时的练习而发生明显改变；也可能是由于商业化认知训练的过度包装削弱了对认知功能的针对性训练效果。二是远迁移的缺失无法满足人们对认知训练效果的需求。远迁移的缺失可能是由认知结构的独立性决定的，也可能是由于训练对认知功能本身的提升就不明显，更难以迁移到其他认知功能上去。商业化认知训练效果欠佳，初步暴露显示了认知训练的困局，但对科学原理的阐述中存在失真、不专业、过度包装等诸多问题，无助于揭示该困局的真正原因。

2.2　基础认知功能训练中远迁移的缺失

相较于商业化认知训练，实验室内的认知训练能更好地控制各种变量的影响，从而更准确地评估迁移效应。实验室内认知训练关注最多的是工作记忆训练，然而，近年来的元分析表明，工作记忆训练对语言和非言语智力[6]、流体智力[15]、认知控制和学业成绩[16, 17]的迁移效应都接近于 0。这些迁移效应的缺失并不是由研究结果的不一致导致的[18]。

此外，Simonet 等人[19]比较了涉及运动、知觉、控制等成分的复杂执行功能训练和简单执行功能训练的迁移效应，发现二者的训练效应均不能迁移到其他认知能力。一项纳入了执行功能训练、课堂活动和游戏等多种训练方式共 9553 项研究的元分析表明，迁移效应的评估受到小样本、发表偏差、结果不统一等诸多因素影响，在读写、计算、语言、智力、社交等多个领域均未表现出明确的远迁移效应[20]。另有研究表明，教育对一般认知能力(General cognitive ability, GCA)的影响很小，其改变的主要是那些在学校学到的能力[21]。所谓一般认知能力是指所有认知能力测试中共同的个体间变异，也称为智力、斯皮尔曼 g 分数(Spearman's g)或一般心理能力[3]。可见，即使教育这种综合性的认知训练改变的也是特定领域的认知能力。

这些元分析表明，即使经过了较为严格的实验控制后，远迁移仍然难以检测到；认知训练的直接效应和近迁移通常也只能达到微弱至中等的效应量。虽然实验室研究的效应量略强于商业化认知训练，但即使对工作记忆、执行功能这些能够有效预测学业成绩和行为表现的认知功能进行训练也难以迁移到其他认知功能[22, 23]。远迁移的缺失似乎表明认知功能之间确实是高度独立的，但仍不能排除两种可能：一是认知训练并未提高认知能力，只是使受训练者总结出一套应对相似任务的策略[24, 25]；二是认知能力是整体性的[26, 27]，认知结构的重叠不能促成训练效果的迁移。

2.3 游戏、音乐、象棋训练中远迁移的缺失

专家(expert)或大师(master)在领域特殊性(domain-specific)的知识或技能训练中取得了卓越的成就[28]，这种强有力的训练效应为检测远迁移提供了良好的载体，能较好地排除由于训练效果微弱而难以产生迁移的可能性。领域特殊性是指解决那些只涉及某个特定领域的问题的心理能力，而领域一般性(domain-general)是指用来解决复杂任务的不受内容影响的心理能力[3]。由于领域特殊性知识很难在不同领域之间泛化，这又成为远迁移缺失的另一个可能原因[3]。

就游戏训练而言，Sala 等人[29]采用随机效应元分析模型考察了 300 多项电子游戏训练的研究，发现这些研究中的远迁移效应接近 0。另一项元分析表明，某些游戏中的得分与特定的认知能力有中等水平的相关，但游戏技能与一般认知能力没有相关[3]。这提示我们，由于不同的游戏玩家采用的技巧或策略不同，单纯的游戏得分可能难以代表训练的效应。

就音乐训练而言，虽然音乐家在记忆、流体智力、加工速度等多种领域一般的认知能力上都优于非音乐家[30, 31]，但有研究发现音乐训练组与积极对照组相比，对一般认知能力的促进效应接近于 0[32]。一项双生子研究发现，经过音乐训练和未经过音乐训练的双生子的智商没有差异；虽然音乐家也需要成千上万小时的训练才能取得傲人的成就，但这种成就并不能迁移到一般认知能力[33]。另一项研究也发现，音乐家的一般认知能力与其音乐天赋有关，而与音乐训练无关[34]。可以认为，并非音乐训练提高了一般认知能力，而是聪明的人更可能在音乐上取得成功[3]。

同样，象棋大师的多种认知能力优于常人[35, 36]，但象棋训练组与积极对照相比，对认知和学术能力的促进效应均不显著[37]。也有学者认为象棋训练对认知功能的促进可能是安慰剂效应[3]。

综合来看，无论是商业化认知训练还是实验室内的认知训练，无论是基本认知功能的训练还是领域特殊性技能的训练，无论是强的训练效应还是弱的训练效应，各种类型的认知训练都难以产生远迁移。远迁移的缺失作为一种普遍的现象，其暗含的认知功能之间相对独立的关系对认知结构理论有重要的启示，亟需合理的理论解释。

3. 迁移效应的理论解释

虽然认知训练的研究在蓬勃发展，但认知训练的理论却极为匮乏。这一方面是由于很多人认为认知训练和肌肉训练一样自然，不需要解释；另一方面是由于很多人认为训练中习得的技能是高度特异化的，一般化的认知训练几乎是不可能的，因而没有必要建立认知训练理论[8]。目前有限的几种认知训练理论主要基于认知结构来解释远迁移的缺失，但由于这些理论大多缺乏操作性推论或者实证研究难以遵守理论的前提假设[8]，使得实证研究与理论之间貌合神离，进一步造成迁移效应的研究长期没有取得突破性进展。

3.1 基于成分和规则的理论

伍德沃斯和桑代克[38]提出的相同要素说(identical elements theory)是对认知训练最早的理论解释。该假说认为，只有两项技能共享相同的知识成分时迁移才会发生，由于共享成分减少，远迁移是极难也极少发生的。直到近 90 年后，辛格利和安德森[39]才提出相同要素说的现代版本。他们指出，这个相同要素是产生式规则(production rule)，即一种关于如何采取多种行为实现多个目标的特定知识表征形式。产生式规则是高度特异性的，比如多位数加法的产生式规则不能用于多位数减法，这使得迁移很难发生。Taatgen[40]将产生式规则继续分解，提出基本信息加工元素(Primitive information processing element, PRIM)理论。PRIM 以算子(operator)为基本单元，不同的算子进一步结合形成规则。不同的规则可以在不同的任务中重复使用，比如进位规则在多位数加法和多位数乘法中共用。PRIM 理论认为，任务表现的提升可能只是因为共享相同的规则而不是由认知能力的迁移造成的。

不管是基于成分还是基于规则，上述理论均认为远迁移难以发生，但却没有给出远迁移在何种情形下会发生的具体推论。实际上，在上述理论框架内可做出如下推论：情形 1，如果两种认知功能包含共同的成分或规则（下文简称成分），且该成分是两种认知功能的核心成分（决定认知功能表现水平的主要成分），那么迁移应该发生；但由于核心成分的重叠，两种认知功能极为相似，该迁移为近迁移。情形 2，如果共同的成分不是两种认知功能的核心成分，那认知训练的效果就难以迁移，此时两种认知功能差异较大，迁移效应缺失。情形 3，如果共同的成分是训练的认知功能的核心成分，但不是迁移的认知功能的核心成分，迁移也很难表现出来，此时两种认知功能差异较大，迁移效应缺失。情形 4，如果共同的成分是迁移的认知功能的核心成分，但不是训练的认知功能的核心成分，此时两种认知功能差异较大，但迁移效应仍可能表现出来，此即为远迁移。情形 5，如果两种认知功能不共享成分，则训练的认知功能难以迁移到新的认知功能上去，此时两种认知功能差异较大，迁移缺失。在此框架下，当训练的认知功能与迁移的认知功能共享核心成分时会发生近迁移，当训练的认知功能的非核心成分

作为迁移的认知功能的核心成分时会发生远迁移，其他情形下迁移均会缺失（见图 1）。

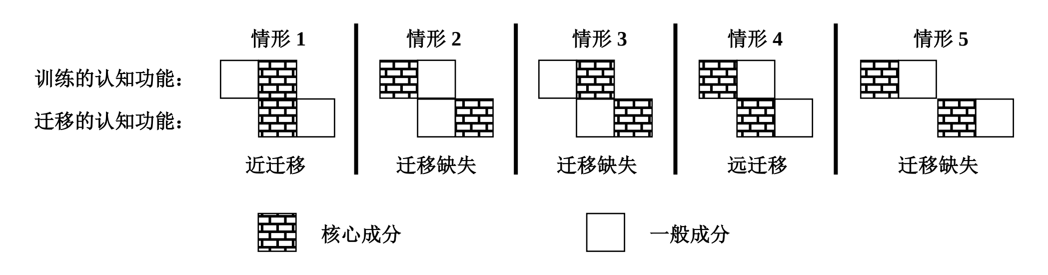


图 1. 基于认知功能共享成分的迁移效应发生条件分析。

基于此框架，虽然注意、工作记忆等能够影响多种认知功能，但这些认知功能并不包含所要迁移的认知功能的核心成分，导致迁移难以发生。游戏、音乐、象棋等训练通常包含多种成分，并且这些成分可能作为其他认知功能的核心成分，但由于这些训练在很大程度上包含迁移的认知功能或与迁移的认知功能有很大重叠，此时只能认为是近迁移。由此可见，基于成分或规则的理论能够很好地解释当前研究中远迁移缺失的现象。在此框架下，远迁移虽然可能发生，但其条件极为苛刻。在理论上，要实现远迁移首先要对几种认知功能进行细分并确定各个成分在认知功能中的权重；然后通过合理组合，确定需要训练的认知功能和需要迁移的认知功能。对认知功能的分解虽然具有一定的理论价值，但直接训练需要的认知功能显然更直接、更高效。

3.2 基于策略的解释

近年来的一些研究指出，认知训练可能并没有提高相应的认知能力，只是使被试习得了某种更有效地完成任务的策略。Von Bastian 和 Oberauer [41]提出的认知训练和迁移的能力-效率模型(capacity-efficiency model)认为，训练可通过 2 条途径产生迁移：一是增加个体可用的认知资源(capacity)；二是提高现有资源的使用效率(efficiency)。效率提升包括习得新策略、获取一般任务的知识、提高自动化水平、提高信息加工速度等[42]。在大量研究中，迁移的发生主要是由于认知效率而非认知资源的提升。还有研究指出，近迁移可能是表层迁移(superficial transfer)，即在与训练任务结构相似的任务中表现的提升只是由于表层策略的获得，而并非真正提高了所期待的那种认知能力[43]。Forsberg 等人[25]教给年轻被试一些可视化策略(visualisation strategy)能提高被试在 n-back 任务中的训练效果，但是可视化策略不能迁移到任务结构不同的工作记忆任务中，从而为认知训练的策略假说提供了直接证据，也证明了策略难以产生远迁移。

另外一些研究者在基于规则的理论上描述了训练过程从受控加工到自动化加工的转变，实质上也支持了策略假说。学习的三元论(triarchic theory of learning)认为，新认知任务的初学者主要依靠元认知系统来产生和建立新的行为规则(routine)。这些规则可能涉及诸如信息分组或心理想象等策略。一旦规则形成，元认知系统的作用就会减弱，学习者将主要利用认知控制网络来执行这些规则。在经过充分的练习后，学习者将从受控加工转向自动加工[44]。认知规则框架(cognitive routine framework)也认为，认知训练通过发展新的认知规则来学习新的技能[45]。当面对不熟悉的训练任务时，需要一般的认知资源来识别和执行规则；在训练结束时，规则的加工就变得自动化。

基于策略的解释认为策略是针对特定任务结构而非针对认知成分的，即迁移效应表现为应用相同的策略应对结构相似的任务。被试在特定任务中表现的提升只是为了更好地应对任务要求，一旦情境发生变化，就需要学习新的策略。这些观点也能很好地解释近迁移容易发生而远迁移极难发生的现象。

由于远迁移的缺失，Gobet 和 Sala[46]建议未来的研究重点关注近迁移或训练本身的领域特殊性效果。Moreau[47]更是极端地认为认知训练已无前途，号召研究者将兴趣转移到其他领域。然而，认知功能之间独立与相关的矛盾尚未解决，教育理论的建构也仍需要认知训练提供实证支撑，认知训练及迁移效应的研究仍必不可少。

4. 脑成像研究对迁移效应的启示

不论是共享相同的认知成分、规则还是任务策略，“共享”是目前迁移理论的核心观念。那么，从脑机制的角度看，不同认知功能共享的是什么呢？

认知功能共享大量的局部脑活动和网络连接。Gonzalez-Castillo 等人[4]发现，当脑信号的信噪比足够高时，可以检测到几乎所有脑区都以各自不同的活动模式对同一项认知任务做出响应。这种全脑响应可能与任务过程中能量在全脑的重新分配有关[48]。Fox 等人[49]指出，绝大部分认知任务都会引起额叶、顶叶等认知控制相关脑区的激活和默认网络(default mode network, DMN)的去激活。Cocuzza 等人考察了被试在完成 64 个认知任务期间的全脑功能连接，发现额顶网络(fronto-parietal network, FPN)和扣带-被盖网络(cingulo-opercular network, CON)参与到了所有任务中，但在不同任务中的连接模式不同[50]。此外，大量研究发现各种认知任务共享大致相同的脑网络节点，这些节点之间的大部分连接在不同的认知任务中有相似的表现，仅有小部分连接存在任务间差异[51-54]。这些研究说明，认知功能之间并非相互独立的，但大量共享的脑区或脑网络活动并未促成迁移效应的发生。那么，究竟是什么样的脑活动使认知功能之间产生隔阂呢？

认知功能之间的区别在于不同的脑活动模式。一方面，一些认知功能依赖独特的脑区活动。比如，面孔识别依赖梭状回面孔区的特异性加工[55]。这些特异性加工通常不能迁移到其它领域的认知活动中。另一方面，共享的脑区和网络连接在不同认知功能中的活动模式不同。一般认知能力主要取决于 DMN、FPN 和 CON 等网络之间的动态转换能力[56]，而领域特殊性认知功能主要取决于共享和非共享脑区协作形成的特定的脑活动模式，即使记忆相同的材料，记忆效果好坏对应的脑活动模式也不相同[57]。

由此可见，脑活动也有领域特殊性和领域一般性的区别。认知功能的实现有赖于二者的有机整合。领域一般性脑网络可以有效调节领域特殊性脑网络，反之则不然[58]；而领域特殊性认知训练通常不会造成特异性脑活动模式的泛化，反而使其特异性增强[59]。在领域特殊性和一般性框架下，领域特殊性认知训练会固化认知特异性脑活动模式，导致功能分化；而领域一般性认知训练跨越多个认知领域，导致功能泛化。Barbey (2018)指出，智力或一般认知能力不是对应某种固定的全脑活动模式，其个体间差异主要体现在脑网络的组织效率和灵活重组的能力。因此，认知训练越偏向于领域一般性认知功能，越需要脑网络在不同认知功能对应的具体脑活动模式之间灵活转换，迁移的可能性也就越大（见图 2）。

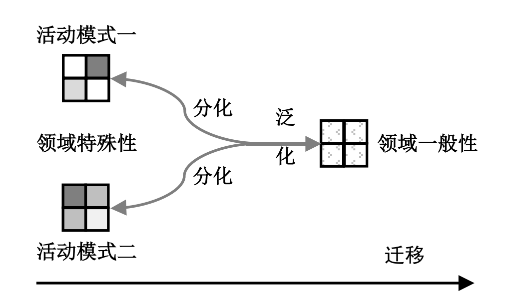


图 2. 迁移效应与领域特殊性和领域一般性认知训练的关系。

5、总结与展望

认知训练中远迁移的缺失是历经 100 余年而未解决的问题[43]。虽然一些研究中报告了显著的远迁移效应，但排除概念界定、实验设计质量、人为统计等问题后，远迁移的效应量基本为 0[3]。认知训练理论通常用共享认知成分、规则或策略来解释远迁移的缺失，但由于这些理论大多缺乏操作性推论或者实证研究难以遵守理论的前提假设，导致迁移效应的研究始终未取得实质性突破[43]。最近的脑成像研究发现，区分不同认知功能的并非领域特殊性脑活动，而是领域特殊性和领域一般性脑活动共同组成的全脑活动模式。领域特殊性认知训练使脑活动分化并固定为一种特定的模式，可能是远迁移难以产生的原因。由此，本文认为认知训练应回归领域特殊性和一般性的基本框架，远迁移在领域特殊性认知训练中的缺失有望在领域一般性认知训练中得到解决。

在领域特殊性和一般性框架下，领域特殊性和一般性认知训练都有其独特的价值。一方面，领域特殊性认知训练仍然是提升特定认知功能的有效途径。高效的认知加工是一种特异性的、高保真的加工，即以尽可能少的脑区和特异性的连接完成专门的认知加工[60]。领域特殊性认知训练能使认知加工的特异性增强，从而提高特定认知功能的效率。另一方面，领域一般性认知训练有望产生远迁移，并可能提升一般认知能力或智力水平。基于 60 万名被试的元分析表明，学校教育可以将智力分数提升 1-5 分[61]，而目前的认知训练从未达到如此效果[3]。领域一般性认知训练能否达到更好的脑智增强效果值得期待。从应用的角度看，脑发育的交互-特异化 (interactive-specialization) 假设[62]和脑老化的去分化 (dedifferentiation)假说[63]指出，皮层回路的特异性随发展而增强，随老化而减弱。由此，领域一般性和领域特殊性认知训练在生命的不同阶段可能具有不同的优势。此外，脑疾病和认知发展中均存在独立的或共存的认知功能异常[64]，因而领域一般性和领域特殊性认知训练在疾病康复领域也有各自独特的价值。

基于领域特殊性和一般性框架，认知功能之间独立性与相关性的矛盾有望得到解决。认知功能之间的独立性是领域特殊性认知训练造成的功能分化和迁移困难的外在表现，而认知功能之间的相关性可能是由领域一般性认知功能对领域特殊性认知功能的调节造成的。脑成像研究发现，全局信号(global signal, GS)作为全脑信号的平均值，跟每个脑区的信号都存在正相关，也会导致脑区信号之间的正相关；回归掉 GS 之后，很多脑区信号之间的负相关就显现出来[65]。可见，脑区信号之间的独立性与相关性是受 GS 调节的，这与领域一般性脑网络对领域特殊性脑网络的调节相一致。此外，根据越整合的脑信号执行越整合的认知功能的一般规律[66]，作为全脑最大尺度的信号整合，GS 可能跟领域一般性认知功能

有密切关系。GS 调节全脑网络的动态性[67]以及智力取决于全脑网络的动态转换[56]等研究支持了这种可能性。因此，领域一般性和领域特殊性认知功能之间的不对称关系及其脑机制可能解决认知功能之间独立性与相关性的矛盾，并促使理论研究突破原来的框架，建立更完善的认知结构理论。

领域特殊性和一般性框架需要新的研究范式和认知结构理论。除了基于行为和计算机的认知训练，无创脑干预技术也在蓬勃发展，并成为脑功能调节的重要手段[68]。偏向于精准干预的经颅磁刺激和高精度经颅电刺激等技术致力于调节特定的脑区及相关的神经回路[69]，可能提升领域特殊性认知训练的效果；而各种低精度的经颅电刺激技术可能调节脑活动的整体兴奋性，有望提升领域一般性认知训练的效果[70]。物理刺激对神经活动的调节与认知任务对心理功能的调节相结合可能达到标（认知功能）本（神经活动）兼调的效果。这些认知训练一方面需借助脑成像技术探测训练和迁移效应的脑机制，另一方面需借助脑成像技术所揭示的脑功能组织模式优化训练方案、提出新的训练范式。此外，脑功能活动的层级性[71]、梯度性[5]等局部乃至全局的组织模式也为建构新的认知结构理论提供了重要依据。在领域特殊性和一般性框架下，脑成像技术有望助力认知训练产生更显著的迁移效应，甚至可能实现远迁移；脑成像技术与认知训练的结合也将推动认知结构理论的进一步发展与完善。

最后，阐明远迁移是否会发生以及在何种条件下发生是建立和检验认知结构理论的重要途经，也是教育、训练及康复领域的重要突破。回归领域特殊性和一般性的基本框架，加强领域一般性认知训练的研究可能是解决认知训练中远迁移缺失问题的有效路径。在该框架下，将认知训练与脑成像技术有机结合，有望阐明认知训练及迁移效应的脑机制，并推动认知结构理论的深化。

参考文献：

[1] C. R. Smid, J. Karbach, N. Steinbeis. Toward a science of effective cognitive training[J]. Current Directions in Psychological Science, 2020, 29 (6): 531–537.

[2] H. Bednarek, M. Przedniczek, J. M. Olszewska, et al. The near-and far-transfer effects of cognitive training on attentional networks in women and men[J]. Journal of Cognitive Psychology, 2021, 33 (4): 453–469.

[3] G. Sala, F. Gobet. Cognitive training does not enhance general cognition[J]. Trends in Cognitive Sciences, 2019, 23 (1): 9–20.

[4] J. Gonzalez-Castillo, Z. S. Saad, D. A. Handwerker, et al. Whole-brain, time-locked activation with simple tasks revealed using massive averaging and model-free analysis[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2012, 109 (14): 5487–5492.

[5] J. A. Brown, A. J. Lee, L. Pasquini, et al. A dynamic gradient architecture generates brain activity states[J]. NeuroImage, 2022, 261: 119526.

[6] M. Melby-Lervåg, T. S. Redick, C. Hulme. Working memory training does not improve performance on measures of intelligence or other measures of “far transfer” evidence from a meta-analytic review[J]. Perspectives on Psychological Science, 2016, 11 (4): 512–534.

[7] G. Sala, F. Gobet. Does far transfer exist? Negative evidence from chess, music, and working memory training[J]. Current Directions in Psychological Science, 2017, 26 (6): 515–520.

[8] N. A. Taatgen. Theoretical models of training and transfer effects[M]//T. Strobach, Karbach J. Cognitive training: An overview of features and applications Switzerland; Springer Nature. 2016: 19–29.

[9] D. J. Simons, W. R. Boot, N. Charness, et al. Do “brain-training” programs work?[J]. Psychological Science in the Public Interest, 2016, 17 (3): 103–186.

[10] T. Rossignoli-Palomeque, E. Perez-Hernandez, J. González-Marqués. Brain training in children and adolescents: is it scientifically valid?[J]. Frontiers in Psychology, 2018, 9: 565.

[11] S. Rabipour, C. Morrison, J. Crompton, et al. Few effects of a 5-week adaptive computerized cognitive training program in healthy older adults[J]. Journal of Cognitive Enhancement, 2020, 4: 258–273.

[12] A. M. Owen, A. Hampshire, J. A. Grahn, et al. Putting brain training to the test[J]. Nature, 2010, 465 (7299): 775–778.

[13] A. Hampshire, S. Sandrone, P. J. Hellyer. A large-scale, cross-sectional investigation into the efficacy of brain training[J]. Frontiers in Human Neuroscience, 2019, 13: 221.

[14] L. Nguyen, K. Murphy, G. Andrews. A game a day keeps cognitive decline away? A systematic review and meta-analysis of commercially-available brain training programs in healthy and cognitively impaired older adults[J]. Neuropsychology Review, 2022, 32: 601–630.

[15] M. R. Dougherty, T. Hamovitz, J. W. Tidwell. Reevaluating the effectiveness of n-back training on transfer through the Bayesian lens: Support for the null[J]. Psychonomic Bulletin & Review, 2016, 23 (1): 306–316.

[16] G. Sala, F. Gobet. Working memory training in typically developing children: A meta-analysis of the available evidence[J]. Developmental Psychology, 2017, 53 (4): 671–685.

[17] A. Soveri, J. Antfolk, L. Karlsson, et al. Working memory training revisited: A multi-level meta-analysis of n-back training studies[J]. Psychonomic Bulletin & Review, 2017, 24 (4): 1077–1096.

[18] G. Sala, F. Gobet. Working memory training in typically developing children: A multilevel meta-analysis[J]. Psychonomic Bulletin & Review, 2020, 27: 423–434.

[19] M. Simonet, F. C. von Roten, L. Spierer, et al. Executive control training does not generalize, even when associated with plastic changes in domain-general prefrontal areas[J]. NeuroImage, 2019, 197: 457–469.

[20] L. G. Smithers, A. C. P. Sawyer, C. R. Chittleborough, et al. A systematic review and meta-analysis of effects of early life non-cognitive skills on academic, psychosocial, cognitive and health outcomes[J]. Nature Human Behaviour, 2018, 2: 867–880.

[21] S. J. Ritchie, T. C. Bates, I. J. Deary. Is education associated with improvements in general cognitive ability, or in specific skills?[J]. Developmental Psychology, 2015, 51 (5): 573–582.

[22] K. Poon. Hot and cool executive functions in adolescence: development and contributions to important developmental outcomes[J]. Frontiers in Psychology, 2018, 8: 2311.

[23] Z. Shipstead, T. S. Redick, R. W. Engle. Is working memory training effective?[J]. Psychological Bulletin, 2012, 138 (4): 628.

[24] C. De Simoni, C. C. von Bastian. Working memory updating and binding training: Bayesian evidence supporting the absence of transfer[J]. Journal of Experimental sychology: General, 2018, 147 (6): 829–858.

[25] A. Forsberg, D. Fellman, M. Laine, et al. Strategy mediation in working memory training in younger and older adults[J]. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 2020, 73 (8): 1206–1226.

[26] J. Gonzalez-Castillo, C. W. Hoy, D. A. Handwerker, et al. Tracking ongoing cognition in individuals using brief, whole-brain functional connectivity patterns[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2015, 112 (28): 8762–8767.

[27] Q. Li, C. Dong, T. Liu, et al. Longitudinal changes in whole-brain functional connectivity strength patterns and the relationship with the global cognitive decline in older adults[J]. Frontiers in Aging Neuroscience, 2020, 12: 71.

[28] G. Sala, F. Gobet. Experts' memory superiority for domain-specific random material generalizes across fields of expertise: a meta-analysis[J]. Memory & Cognition, 2017, 45: 183–193.

[29] G. Sala, K. S. Tatlidil, F. Gobet. Video game training does not enhance cognitive ability: A comprehensive meta-analytic investigation[J]. Psychological Bulletin, 2018, 144 (2): 111–139.

[30] E. G. Schellenberg. Long-term positive associations between music lessons and IQ[J]. Journal of Educational Psychology, 2006, 98 (2): 457–468.
[31] F. Talamini, G. Altoè, B. Carretti, et al. Musicians have better memory than nonmusicians: A meta-analysis[J]. PLoS ONE, 2017, 12 (10): e0186773.
[32] G. Sala, F. Gobet. When the music's over. Does music skill transfer to children's and young adolescents' cognitive and academic skills? A meta-analysis[J]. Educational Research Review, 2017, 20: 55–67.
[33] M. A. Mosing, G. Madison, N. L. Pedersen, et al. Investigating cognitive transfer within the framework of music practice: genetic pleiotropy rather than causality[J]. Developmental Science, 2016, 19: 504–512.
[34] S. Swaminathan, E. G. Schellenberg, S. Khalil. Revisiting the association between music lessons and intelligence: Training effects or music aptitude?[J]. Intelligence, 2017, 62: 119–124.
[35] A. P. Burgoyne, G. Sala, F. Gobet, et al. The relationship between cognitive ability and chess skill: A comprehensive meta-analysis[J]. Intelligence, 2016, 59: 72–83.
[36] G. Sala, A. P. Burgoyne, B. N. Macnamara, et al. Checking the “Academic Selection” argument. Chess players outperform non-chess players in cognitive skills related to intelligence: A meta-analysis[J]. Intelligence, 2017, 61: 130–139.
[37] G. Sala, F. Gobet. Do the benefits of chess instruction transfer to academic and cognitive skills? A meta-analysis[J]. Educational Research Review, 2016, 18: 46–57.
[38] R. S. Woodworth, E. L. Thorndike. The influence of improvement in one mental function upon the efficiency of other functions[J]. Psychological Review, 1901, 8 (3): 247–261.
[39] M. K. Singley, J. R. Anderson. The transfer of cognitive skill[M]. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1989.
[40] N. A. Taatgen. The nature and transfer of cognitive skills[J]. Psychological Review, 2013, 120 (3): 439–471.
[41] C. C. Von Bastian, K. Oberauer. Effects and mechanisms of working memory training: a review[J]. Psychological Research, 2014, 78: 803–820.
[42] C. C. von Bastian, S. Belleville, R. C. Udale, et al. Mechanisms underlying training- induced cognitive change[J]. Nature Reviews Psychology, 2022, 1: 30–41.
[43] B. Katz, P. Shah, D. E. Meyer. How to play 20 questions with nature and lose: Reflections on 100 years of brain-training research[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2018, 115 (40): 9897–9904.
[44] J. M. Chein, W. Schneider. The brain's learning and control architecture[J]. Current Directions in Psychological Science, 2012, 21 (2): 78–84.
[45] S. E. Gathercole, D. L. Dunning, J. Holmes, et al. Working memory training involves learning new skills[J]. Journal of Memory and Language, 2019, 105: 19–42.
[46] F. Gobet, G. Sala. Cognitive training: a field in search of a phenomenon[J]. Perspectives on Psychological Science, 2022: 1–17.
[47] D. Moreau. Shifting minds: A quantitative reappraisal of cognitive-intervention research[J]. Perspectives on Psychological Science, 2021, 16 (1): 148–160.
[48] Y. Wang, W. Chen, L. Ye, et al. Multiscale energy reallocation during low-frequency steady-state brain response[J]. Human Brain Mapping, 2018, 39: 2121–2132.
[49] M. D. Fox, A. Z. Snyder, J. L. Vincent, et al. The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2005, 102 (27): 9673–9678.
[50] C. V. Cocuzza, T. Ito, D. Schultz, et al. Flexible coordinator and switcher hubs for adaptive task control[J]. Journal of Neuroscience, 2020, 40 (36): 6949–6968.

[51] J. Li, T. Bolt, D. Bzdok, et al. Topography and behavioral relevance of the global signal in the human brain[J]. Scientific Reports, 2019, 9: 14286.

[52] D. V. D. Ville, Y. Farouj, M. G. Preti, et al. When makes you unique: Temporality of the human brain fingerprint[J]. Science Advances, 2021, 7: eabj0751.

[53] B. Cai, G. Zhang, A. Zhang, et al. Functional connectome fingerprinting: Identifying individuals and predicting cognitive functions via autoencoder[J]. Human Brain Mapping, 2021, 42 (9): 2691–2705.

[54] J. Zhang, Z. Huang, S. Tumati, et al. Rest-task modulation of fMRI-derived global signal topography is mediated by transient coactivation patterns[J]. PLoS Biology, 2020, 18 (7): e3000733.

[55] Y. Wang, X. Huang, X. Yang, et al. Low-frequency phase-locking of brain signals contribute to efficient face recognition[J]. Neuroscience, 2019, 422: 172–183.

[56] A. K. Barbey. Network neuroscience theory of human intelligence[J]. Trends in Cognitive Sciences, 2018, 22 (1): 8–20.

[57] G. Xue. The neural representations underlying human episodic memory[J]. Trends in Cognitive Sciences, 2018, 22 (6): 544–561.

[58] G. Hartwigsen. Flexible redistribution in cognitive networks[J]. Trends in Cognitive Sciences, 2018, 22 (8): 687–698.

[59] G. R. Yang, M. R. Joglekar, H. F. Song, et al. Task representations in neural networks trained to perform many cognitive tasks[J]. Nature Neuroscience, 2019, 22: 297–306.

[60] J. D. Koen, M. D. Rugg. Neural dedifferentiation in the aging brain[J]. Trends in Cognitive Sciences, 2019, 23 (7): 547–559.

[61] S. J. Ritchie, E. M. Tucker-Drob. How much does education improve intelligence? A meta-analysis[J]. Psychological Science, 2018, 29 (8): 1358–1369.

[62] S. V. Wass, G. Scerif, M. H. Johnson. Training attentional control and working memory–Is younger, better?[J]. Developmental Review, 2012, 32: 360–387.

[63] Y. Ao, J. Kou, C. Yang, et al. The temporal dedifferentiation of global brain signal fluctuations during human brain ageing[J]. Scientific Reports, 2022, 12: 3616.

[64] F. Samea, S. Soluki, V. Nejati, et al. Brain alterations in children/adolescents with ADHD revisited: A neuroimaging meta-analysis of 96 structural and functional studies[J]. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 2019, 100: 1–8.

[65] K. Murphy, M. D. Fox. Towards a consensus regarding global signal regression for resting state functional connectivity MRI[J]. NeuroImage, 2017, 154: 169–173.

[66] G. Buzsáki. Rhythms of the brain[M]. New York: Oxford University Press, 2006.

[67] R. V. Raut, A. Z. Snyder, A. Mitra, et al. Global waves synchronize the brain's functional systems with fluctuating arousal[J]. Science Advances, 2021, 7 (30): eabf2709.

[68] R. Polanía, M. A. Nitsche, C. C. Ruff. Studying and modifying brain function with non-invasive brain stimulation[J]. Nature Neuroscience, 2018, 21 (2): 174-187.

[69] J. Kricheldorff, K. Göke, M. Kiebs, et al. Evidence of neuroplastic changes after transcranial magnetic, electric, and deep brain stimulation[J]. Brain Sciences, 2022, 12 (7): 929.

[70] J. Qiao, X. Li, Y. Wang, et al. The infraslow frequency oscillatory transcranial direct current stimulation over the left dorsolateral prefrontal cortex enhances sustained attention[J]. Frontiers in Aging Neuroscience, 2022, 14: 879006.

[71] C. C. Hilgetag, A. Goulas. 'Hierarchy' in the organization of brain networks[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 2020, 375: 20190319.

(通讯作者：王一峰 E-mail:wyf@sicnu.edu.cn)

作者贡献声明：

王一峰、肖坤辰、荆秀娟：提出研究思路，设计研究方案；
王绍绰：撰写论文初稿；
王绍绰、肖坤辰、荆秀娟：修改论文；
王一峰：论文最终版本修订。